

**Estratégias de diversificação em meta-heurísticas aplicadas a problemas de
Otimização em Engenharia Elétrica**

01 – IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

Título: Estratégias de diversificação em meta-heurísticas aplicadas a problemas de
Otimização em Engenharia Elétrica

Dados do Orientador:

- Rainer Zanghi
SIAPE: 2393115
Professor Adjunto

Dados do Aluno:

- Dieison Mariano Farias Rocha
Matrícula: 618038102

Local de Realização do Projeto: Escola de Engenharia

Palavras Chave: Sistemas Elétricos de Potência, Otimização, Meta-heurísticas.

Grande Área: Engenharias

Área: Engenharia Elétrica.

Sub-área: Sistemas Elétricos de Potência.

Niterói, 03 de maio de 2023

02 – RESUMO

O planejamento e a operação de sistemas elétricos de potência (SEP) cada vez mais complexos demanda análises com alto custo computacional. Soma-se a isso a necessidade, em diversas aplicações, de buscar sistematicamente o espaço de soluções do problema por uma solução ótima que depende destas análises custosas. Alguns critérios utilizados para avaliar soluções também não apresentam relação direta com variáveis de decisão o que torna difícil a aplicação de métodos da otimização clássica. Estas aplicações são atraentes para o uso de meta-heurísticas como ferramentas de otimização. A implementação eficiente destes algoritmos pode viabilizar meta-análises, integrando conhecimentos da Computação e da Engenharia Elétrica no processo de busca da solução ótima. Apesar de diversos avanços nas duas áreas de conhecimento, seja no desenvolvimento de melhores modelos computacionais dos SEP como no desenvolvimento de meta-heurísticas, ainda é necessário articular os dois campos conceituais na formação de profissionais aptos, sendo necessárias abordagens trans e interdisciplinares. O presente projeto tem como objetivo investigar o efeito de estratégias de diversificação em algoritmos de otimização com base populacional aplicados a problemas no SEP. Serão exploradas implementações destas técnicas em bibliotecas de código aberto para meta-heurísticas populacionais e investigadas sua integração com software de análise e modelagem dos SEP.

03 – INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

3.1 Introdução

Os SEP operam atualmente sob limites econômicos e de segurança estritos. A análise de cenários ótimos para o planejamento destes sistemas é um requisito cada vez mais presente na operação inteligente, sem a qual não seria possível preservar seus altíssimos índices de disponibilidade[1]. Em sistemas interligados como o Sistema Interligado Nacional (SIN), ou ainda em sistemas de distribuição com geração distribuída, sua dimensão e complexidade demandam análises com ferramentas computacionais eficientes para sua operação.

A operação dos SEP enfrenta desafios inerentes à complexidade crescente destes sistemas. Esta complexidade se dá na presença de uma diversidade crescente de arranjos e tipos de fontes ou tecnologias de transporte e distribuição de energia, o que demanda análises exaustivas em cenários nos sistemas elétricos de distribuição, transmissão e

geração. Representando diversos níveis de abstração destes sistemas, estas meta-análises demandam um alto número de execuções de algoritmos que apresentam custo computacional elevado para sistemas de grande porte [2].

Desta forma, o desenvolvimento de *frameworks* de software que permitem elaborar meta-análises considerando aspectos de eficiência computacional como a computação de alto-desempenho (do inglês *High Performance Computing* ou HPC) é elemento fundamental no desenvolvimento de pesquisa na área de análise dos SEP [2 e 3]. Um aspecto importante a ser considerado neste desenvolvimento é a possibilidade de utilização de bibliotecas de código aberto que implementam algoritmos eficientes para análise dos SEP e em linguagens de rápido aprendizado como a linguagem Python.

A biblioteca de código aberto Pandapower [4], permite automatizar análises computacionais de sistemas elétricos de transmissão e distribuição, fornecendo um modelo de dados projetado para representar redes elétricas com eficiência comparável a softwares comerciais. Esta biblioteca foi desenvolvida em Python e seu uso frequente em artigos científicos pode ser observado pelo número de citações (321 em 29/04/2023) do artigo associado e pela informação fornecida pelo site onde a ferramenta está hospedada.

O processo de otimização em engenharia consiste na busca por uma solução ótima para um problema definido por suas variáveis de decisão e uma métrica de avaliação das soluções, ou função objetivo. Em muitos problemas reais do SEP também são consideradas restrições para as variáveis de decisão contínuas e/ou discretas. Em muitos problemas complexos de otimização, onde a avaliação é computacionalmente custosa e/ou não tem relação direta ou funcional com as variáveis de decisão são aplicadas meta-heurísticas para sua solução. Estes algoritmos são estratégias computacionais de alto nível que gerenciam procedimentos de geração e modificação de soluções com processos de avaliação da sua qualidade. Muitas meta-heurísticas foram criadas a partir de metáforas inspiradas na observação da natureza, como processos biológicos, físicos, químicos ou sociais [5].

O problema de agendamento de intervenções em redes elétricas (AIRE) é abordado como um problema de otimização em [2] e, devido as suas características, uma meta-heurística populacional bio-inspirada é aplicada. No referido trabalho, algumas estratégias de diversificação são propostas de forma a impulsionar o algoritmo para uma busca mais ampla do espaço de soluções. Para avaliar as soluções, um algoritmo de fluxo de potência e uma análise dinâmica simplificada foi empregada, sendo necessário realizar diversas execuções custosas destes algoritmos na busca da solução ótima. Este trabalho suscita futuras investigações, principalmente na aplicação da metodologia para sistemas de grande

porte e ainda na pesquisa da aplicação das técnicas de diversificação desenvolvidas em outros problemas de dificuldade similar.

3.2 Justificativa e Relevância

O desenvolvimento de metodologias para a implementação de algoritmos de meta-heurísticas é um tema bem desenvolvido na literatura e que possui larga aplicabilidade na operação e no planejamento dos SEP [6-9]. Também se encontram disponíveis em código aberto, algumas boas soluções para representação dos SEP e algoritmos de análise como fluxo de potência [4]. É importante considerar o desenvolvimento de *frameworks* em código aberto que permitam relacionar bibliotecas para modelagem e análise dos SEP [4] com outras desenvolvidas para otimização utilizando meta-heurísticas [10].

Estes *frameworks* podem auxiliar analistas e pesquisadores que trabalham na operação dos SEP. Seu desenvolvimento em linguagens de fácil aprendizado permite articular conceitos relacionados à Computação e a Engenharia Elétrica e seu uso em ambiente acadêmico pode ser direcionado como uma ferramenta didática. A formação de profissionais capacitados para um mercado de trabalho cada vez mais competitivo e com exigências de habilidades em computação demanda estratégias que facilitem o processo de aprendizado destas competências.

04 – OBJETIVOS

4.1 Objetivos Gerais e Específicos

O presente projeto tem como objetivo investigar o efeito de estratégias de diversificação em algoritmos de otimização com base populacional aplicados a problemas no SEP. Busca-se explorar implementações destas técnicas em bibliotecas de código aberto para meta-heurísticas populacionais e investigar sua integração com software de análise e modelagem dos SEP.

Este projeto tem como objetivos específicos os seguintes itens:

- Desenvolver um *framework* de software que permita integrar duas bibliotecas em código aberto, uma com algoritmos de meta-heurísticas e outra com algoritmos de representação e análise dos SEP.
- Implementar as técnicas de diversificação em meta-heurísticas populacionais apresentadas em [2] na biblioteca em código aberto com estes algoritmos.

- Utilizar este *framework* de software para executar meta-análises para problemas de otimização no SEP, realizando simulações e testes com casos provenientes do mundo real.

4.2 Resultados Esperados

Este projeto busca contribuir com os seguintes resultados:

- Desenvolvimento de ferramenta de otimização em código aberto para aplicações dos SEP, considerando o uso de bibliotecas existentes e de fácil acesso;
- Ampliar resultados de metodologias de diversificação em meta-heurísticas populacionais, contribuindo para diversos problemas de otimização nos SEP;
- Estimular o aprendizado do aluno bolsista em competências da computação, explorando as habilidades de forma aplicada a problemas de otimização nos SEP;
- Descrição de métodos que possam ser utilizados como ferramentas pedagógicas nas disciplinas do curso de Engenharia Elétrica com habilidades associadas.

4.3 Infraestrutura

O aluno disporá da infraestrutura do Laboratório do Grupo de Pesquisa de Modelagem e Simulação Computacional de Sistemas de Energia (LMSE), do Departamento de Engenharia Elétrica da UFF. Devido às características do projeto, que envolvem pesquisa, desenvolvimento de software e simulações computacionais, será possível desenvolver o projeto remotamente, caso seja necessário.

05 – METODOLOGIA E FORMA DE ANÁLISE DE RESULTADOS

A metodologia empregada se constituirá dos seguintes passos:

1. Levantamento bibliográfico;
2. Consolidação dos conceitos;
3. Implementação;
4. Coleta de dados e Análise de resultados;
5. Divulgação da pesquisa;

Durante o **levantamento de referências bibliográficas** será utilizado material já existente no acervo do Grupo de Modelagem de Sistemas de Energia (GMSE), artigos obtidos através do Portal de periódicos CAPES, trabalhos de conclusão de curso, relatórios

de iniciação científica, dissertações de mestrado e teses de doutorado. Os resultados obtidos na Tese de Doutorado, defendida pelo Orientador desta proposta serão utilizados como insumos para desenvolvimento das atividades do presente projeto. Na etapa de **consolidação dos conceitos**, o aluno elaborará um resumo, com citações às referências utilizadas, para cada um dos temas estudados a seguir: (a) técnicas de otimização com meta-heurísticas populacionais aplicadas aos SEP; (b) estratégias de diversificação em meta-heurísticas populacionais; (c) modelagem computacional eficiente para análises no SEP; (d) funcionalidades de bibliotecas Python para otimização por meta-heurísticas (e.g. Niapy[10]) e para modelagem de sistemas de potência (e.g. Pandapower[4]).

Na etapa de **implementação**, serão desenvolvidas soluções de software em Python passíveis de implementação em plataformas colaborativas online com recursos e bibliotecas de código aberto. Estas soluções incluem: implementação em Python de estratégias de repopulação com conjunto elite e unicidade em meta-heurísticas populacionais, como proposto em [2]; testes de meta-análise utilizando bibliotecas de código aberto Python para meta-heurísticas, modelagem do SEP e computação paralela. Nesta etapa também será elaborado o desenho dos experimentos e simulações que serão utilizados para verificar a implementação desenvolvida. A **coleta de dados** se dará na aplicação das metodologias propostas em plataformas computacionais com capacidade de paralelismo (CPU ou GPU) e por testes em aplicações reais disponíveis publicamente, sendo os resultados obtidos **analisados e divulgados** em conferência na área de sistemas de potência.

Durante a execução do projeto, reuniões periódicas serão realizadas entre aluno e orientador, sendo fomentada sua integração com outros alunos de iniciação científica de orientadores do mesmo grupo e pesquisadores do programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações (PPGEET), do qual faz parte o Orientador desta proposta.

06 – PLANO DE TRABALHO DO ALUNO E CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

O aluno desenvolverá o trabalho em um plano de 5 etapas descrito no cronograma na Tabela 1.

Tabela 1 - Cronograma de atividades do bolsista

Etapas\Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Levantamento bibliográfico												
Elaboração de resumos sobre os 4 temas de interesse – consolidação de conceitos												
Implementação de software e simulações												
Coleta e análise de dados												
Elaboração de relatório e artigo científico												

07 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) (2016)., Procedimentos de Rede, Submódulo 10.14, rev 2016.12 “Requisitos operacionais para os centros de operação, subestações e usinas da rede de operação”, Rio de Janeiro: ONS.
- [2] R. Zanghi, “Meta-heurísticas aplicadas ao Agendamento de Intervenções em Redes Elétricas”, Tese de Doutorado, Instituto de Computação, Universidade Federal Fluminense, [pdf]. Disponível em: <http://www.ic.uff.br/PosGraduacao/frontend-tesesdissertacoes/download.php?id=741.pdf&tipo=trabalho> , [Acessado em abril de 2023], 2016.
- [3] Daher Daibes, JV, Brown Do Coutto Filho, M, Stacchini de Souza, JC, Gonzalez Clua, EW, Zanghi, R. Experience of using graphical processing unit in power flow computation. *Concurrency Computat Pract Exper.* 2022; 34(6):e6762. doi:10.1002/cpe.6762
- [4] L. Thurner et al., "Pandapower—An Open-Source Python Tool for Convenient Modeling, Analysis, and Optimization of Electric Power Systems," in *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 33, no. 6, pp. 6510-6521, Nov. 2018, doi: 10.1109/TPWRS.2018.2829021.
- [5] Fister Jr., I., Yang, X.S., Fister, I., Brest, J., Fister, D.: A brief review of nature-inspired algorithms for optimization. *Elektrotehniski vestnik* 80(3), 116–122, 2013, doi: 10.48550/arXiv.1307.4186
- [6] Soliman, S.A. and Mantawy, A.H., *Modern Optimization Techniques with Applications in Electric Power Systems*, Energy Systems, 2012.
- [7] Kagan, N. et al., “Métodos de Otimização Aplicados a Sistemas Elétricos de Potência”. São Paulo: Blucher, 2009.
- [8] Momoh, J. A., *Electric Power System Applications of Optimization*. 2nd edition . CRC Press. 2009
- [9] Lee, K. Y., El-Sharkawi M. A., 2008. *Modern Heuristic Optimization Techniques: Theory and Applications to Power Systems*. IEEE Press Series on Power Engineering.
- [10] NiaOrg (2020). “Python micro framework for building nature-inspired algorithms”. Disponível em: <https://niapy.org/>, [Acessado em abril de 2023].